

Erupciones volcánicas

PETER J. BAXTER

Las pérdidas humanas y económicas por erupciones volcánicas han sido minimizadas por las de las inundaciones, los terremotos y los huracanes, pero el potencial de efectos devastadores de las erupciones volcánicas es tan grande que ahora reciben mayor atención. Los principales factores que contribuyen a los desastres volcánicos incluyen la falta de un mapa preciso de las amenazas volcánicas, los escasos recursos dedicados exclusivamente a la monitorización de los más peligrosos y el veloz y continuo crecimiento de las poblaciones, con el resultado de que cerca de 500 millones de personas vivirán en áreas de actividad volcánica a finales de siglo. Existen cientos de peligrosos y explosivos volcanes y sólo algunos de ellos han sido sujetos de un detallado análisis de riesgos. Para avanzar en los estudios de zonificación de amenazas alrededor de los volcanes, la Década Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales de las Naciones Unidas (DIRDN) ha designado algunos de los volcanes más peligrosos en los países desarrollados y en vías de desarrollo como los 'volcanes de la década' para estudio especial (1) (tabla 9.1).

Factores que afectan la ocurrencia y la severidad de los desastres volcánicos

Históricamente, unos 600 volcanes han estado activos en el mundo y 100 o más han sido notorios por la frecuencia o la severidad de sus erupciones en áreas pobladas (2,3). En promedio, cerca de 50 volcanes hacen erupción cada año. La mayoría de los

Tabla 9.1 Volcanes de la Década. Década Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales de las Naciones Unidas

Colima (México)	Monte Rainier (Estados Unidos)	Teide (España)
Etna (Italia)	Nyiragongo (Zaire)	Ulawun (Papua,
Galeras (Colombia)	Sakurajima (Japón)	Nueva Guinea)
Mauna Loa (Estados Unidos)	Santa María (Guatemala)	Unzen (Japon)
Merapi (Indonesia)	Taal (Filipinas)	Vesubio (Italia)

volcanes, incluyendo los de los Estados Unidos, están en un cinturón que bordea el Océano Pacífico conocido como el ‘anillo de fuego’; históricamente, la mayoría de las muertes en erupciones ha ocurrido en Indonesia. Otro cinturón importante se extiende desde el sudeste de Europa a través del Mediterráneo. Además, se encuentran islas volcánicas en el Pacífico, el Atlántico y el Indico. Notoriamente, la mayoría de los volcanes están 300 km mar adentro, en áreas que frecuentemente son de alto riesgo sísmico.

Cerca de 400 a 500 volcanes están en áreas conocidas como zonas de subducción, donde las placas tectónicas están bajo compresión (por ejemplo, el ‘cinturón de fuego’) y esos volcanes tienden a ser explosivos. Los volcanes explosivos tienden a hacer erupciones violentas y liberan grandes cantidades de ceniza. Algunos volcanes, como los de Hawaii, se caracterizan por grandes flujos de lava y copiosas emisiones de gas pero pocas cenizas. Otros volcanes, como los de Islandia, pueden hacer erupción con grandes flujos de lava (por ejemplo, el Krafla) o explosivamente emitiendo cenizas altamente tóxicas, como el volcán Hekla. Los volcanes con características explosivas y efusivas, se denominan ‘mixtos’. Los geólogos piensan que ahora hay, por lo menos, 35 volcanes con potencial explosivo localizados al este de los Estados Unidos y Alaska, con cerca de dos docenas en la Sierra Cascada; seis de ellos han hecho erupción en los últimos 200 años. Otra área peligrosa contiene los cráteres Mono-Inya de California. Los volcanes hawaianos de Mauna Loa y Kilauea tienen importantes erupciones de lava cada pocos años y han sido intensamente estudiados por los geólogos, pero implican poco riesgo para los humanos comparados con sus primo explosivo, el Monte Santa Helena, en el centro de los Estados Unidos. Hasta la erupción del Monte Santa Helena y excluyendo la actividad volcánica en Hawaii, las erupciones previas más recientes en los Estados Unidos han sido: una menor en el Monte Lassen, California, en 1914, y la erupción masiva del Monte Katmai, en Alaska en 1912. La erupción del Monte Santa Helena en el estado de Washington el 18 de mayo de 1980, fue un importante estímulo para la mitigación de los desastres volcánicos en todas partes. Aunque el Monte Santa Helena es el volcán más activo de la Sierra Cascada, hace erupción aproximadamente cada 100 años, las autoridades no estaban preparadas para la magnitud y la capacidad destructiva de su erupción. Desde entonces, otras erupciones desastrosas alrededor del mundo han resaltado el peligro de la preparación inadecuada (por ejemplo, Monte Galunggung, Indonesia, 1984; Nevado del Ruiz, Colombia, 1985; El Chichón, México, 1982; Monte Pinatubo, Filipinas, 1991, y Monte Unzen, Japón, 1991) (tabla 9.2).

Tabla 9.2 Erupciones volcánicas que han causado más de 8.000 muertes desde los años 1600

Volcán	Fecha de erupción	No. de muertos	Agente letal
Laki, Islandia	178	39.350	La caída de cenizas destruyó cosechas y animales, causando inanición.
Unzen, Japón	1792	14.300	70% de los muertos por colapso del cono; 30% por tsunami
Tambora, Indonesia	1815	92.000	La mayoría de muertes por inanición
Krakatoa, Indonesia	1883	36.147	70% murieron por el tsunami
Monte Pelée, Martinica	1902	29.025	Flujos piroclásticos
Nevado del Ruiz, Colombia	1985	23.000	Avalancha

Fuente: Modificada de Blong RJ. *Volcanic hazards: A source book on the effects of eruptions*. Sydney: Academic Press; 1984. (6)

El trabajo científico de años recientes ha confirmado el efecto crítico que los volcanes pueden ejercer sobre el clima del mundo. Por ejemplo, de repetirse hoy, una erupción de la magnitud del Tambora en Indonesia, 1815, considerada la más mortífera de la historia, conllevaría importantes pérdidas de vidas por hambre en muchas partes del mundo a causa de su impacto sobre el clima. Las nubes de ciertas erupciones, como la de El Chichón en México, 1982, y la del Monte Pinatubo en Filipinas, 1991, produjeron abundantes aerosoles de sulfato en la estratosfera que no permitieron la penetración de la luz solar y se afectó la temperatura global (4). Las erupciones masivas en caldera son muy destructivas y capaces de provocar disturbios globales a gran escala; la última ocurrió en la prehistoria. En la actualidad, no hay manera de predecirlas ni planificarlas.

Predicción de erupciones y establecimiento de alarmas

Los vulcanólogos predicen el comportamiento general de los volcanes a partir de la evidencia disponible por sus características geológicas y su actividad pasada (5). El establecimiento de los riesgos asociados con los volcanes puede ser una actividad científica costosa, pero es un primer paso esencial, antes de emprender el establecimiento de riesgos o el desarrollo de planes de desastre. El uso de la información estadística sobre el momento de los eventos eruptivos previos para predecir erupciones futuras es difícil dado lo disperso de la información. Para los pocos volcanes sobre los cuales existen datos, se han identificado patrones aleatorios de erupción (Mauna Loa), agrupamiento (Kilauea) y creciente probabilidad de erupción violenta conforme pasa el tiempo desde la última erupción (Vesubio, Italia).

Si se pueden establecer en forma precisa el momento, la magnitud y la naturaleza de las erupciones, se puede prevenir la pérdida de vidas humanas mediante la evacuación

oportuna. Sin embargo, en la práctica, estamos lejos de alcanzar esta meta. Los avisos de una reactivación de la actividad volcánica pueden ser dados por ciertos eventos premonitorios como pequeños sismos o emisiones menores de gas y ceniza semanas o meses antes. Se pueden usar las técnicas de monitorización específica, la cual incluye la sismografía y la deformación del terreno, las emisiones de gas, la microgravedad y la actividad térmica (5). Aun con estrecha vigilancia, es imposible inferir, a partir de la actividad precursora, si habrá una erupción o determinar su magnitud o su carácter. Una evaluación de riesgos adelantada por estudios geológicos de Estados Unidos en 1978, predijo exitosamente el grado de la erupción del Monte Santa Helena del 18 de mayo de 1980, pero la erupción pudo ser presagiada como de ocurrencia probable, *'posiblemente en este siglo'*; aún cuando comenzó la actividad premonitoria, no hubo consenso científico sobre si ocurriría una erupción mayor. Sin embargo, para las subsecuentes erupciones menores, las técnicas de monitorización fueron capaces de predecirlas con un día o menos de anticipación y brindaron información importante a los servicios de personal de emergencia y para quienes continuaron trabajando en la vecindad del volcán.

Como desventaja adicional, sabemos de erupciones desastrosas que pueden ocurrir en lugares donde no se sabía de la existencia de volcanes - por ejemplo, en el Monte Lamington, Papua, Nueva Guinea, donde 2.942 personas murieron en 1951. En 1991, las autoridades filipinas fueron sorprendidas cuando el Monte Pinatubo mostró los primeros signos de actividad eruptiva, pues, la última erupción había ocurrido 600 años antes y no se consideraba un volcán bajo serio estudio. Hasta que los vulcanólogos condujeron un urgente abordaje stratigráfico del Monte Pinatubo, se reconoció el extenso depósito de flujo piroclástico y su peligro. La erupción explosiva el 14 de junio de 1991, fue una de las mayores de este siglo.

Infortunadamente, esta incapacidad para predecir exactamente cuándo y con qué fuerza hará erupción un volcán origina serios problemas en las áreas altamente pobladas donde puede requerirse mucho tiempo para la evacuación exitosa. Para el futuro predecible, las catástrofes como la del Nevado del Ruiz (tabla 9.2) parecen inevitables. Uno de los volcanes más peligrosos hoy día es el Vesubio en Italia. Aún no apagado, el volcán amenaza, por lo menos, a 800.000 personas, residentes en casas y edificios que han alcanzado inexorablemente sus flancos. Los ejemplos ilustran la importancia de dar máxima prioridad a los esfuerzos en la mitigación de desastres, dirigidos directamente hacia la preparación de la comunidad y las medidas de respuesta a las emergencias mientras persista la incertidumbre de las predicciones.

Riesgos asociados con las erupciones y factores que influyen en la morbilidad y la mortalidad

Los volcanes han sido respetados por su pavoroso poder y temidos por su capacidad de causar muerte y destrucción. El rango de los fenómenos eruptivos y las consecuencias secundarias es amplio y esa diversidad hace que el estudio de los

volcanes sea un compromiso particularmente complejo para los científicos y los trabajadores de salud (6). Los fenómenos más peligrosos son los flujos piroclásticos y las avalanchas (flujos de lodo con detritos volcánicos), los cuales se mueven como las corrientes de gravedad. El riesgo de lesión o muerte asociada con esos fenómenos depende de: 1) el tamaño y la naturaleza de la erupción, 2) los factores topográficos locales y 3) la proximidad de la población al volcán. Además, los gases asfixiantes formados durante una erupción son más peligrosos cerca de los cráteres o fisuras ubicadas en los flancos del volcán. Dado que la gravedad es crucial para el flujo de los sólidos volcánicos y de los gases densos, quienes viven en las áreas bajas y en los valles cerca del volcán están en mayor riesgo de lesiones o muerte. Los expertos que estudian los volcanes críticamente activos conocen bien la importancia de asegurar que la gente evite vivir en esas áreas tanto como sea posible y de poner especial atención a los riesgos que enfrentan las comunidades en esos lugares.

Riesgos de ráfagas y proyectiles

Una ráfaga es una fuerza explosiva y si ocurre una erupción, es probable que esté confinada cerca de la abertura o avance localmente en explosiones, como ocurre cuando los materiales calientes caen en los lagos. Producen un ruido que se escucha a grandes distancias y pueden romper ventanas y causar laceraciones por vidrios rotos. Los fragmentos de roca de diferentes tamaños pueden ser arrojados explosivamente en cualquier momento, causando lesión o muerte, y en las erupciones masivas pueden ser liberados sobre una amplia zona alrededor del volcán. Los proyectiles grandes pueden dañar las viviendas y, si son candentes, causar incendios.

En los cráteres pueden ocurrir pequeñas erupciones con poco aviso. Por ejemplo, en el Monte Etna en Sicilia, 1979, nueve turistas que visitaban el volcán murieron después de pequeñas erupciones y en el Galeras, Colombia, 1993, seis científicos que trabajaban al lado del cráter murieron sin anuncio. Esas liberaciones de energía a pequeña escala causadas por gases reprimidos o mecanismos similares son un riesgo ocupacional serio para los vulcanólogos que trabajan cerca de las bocas de los volcanes (1).

Riesgos por flujos y oleadas piroclásticas

Los flujos y oleadas piroclásticas son mezclas de gases calientes, ceniza, piedra pómez y rocas que son impulsadas primariamente por la gravedad y se pueden formar por el colapso de una erupción vertical o salir directamente al borde del cráter (3). Es importante visualizar esos flujos y oleadas como corrientes de gravedad que se mueven como nubes de gas denso y que son capaces de extenderse ampliamente y causar destrucción masiva. Pueden viajar a velocidades de 50 a 150 km por hora, una velocidad que, junto con el contenido sólido del flujo, crean un poderoso ímpetu destructor muy parecido al de los huracanes. Muchos flujos y oleadas se inician a altas temperaturas

(600-900 °C) y algunos se pueden enfriar rápidamente si son turbulentos y se mezclan con aire durante su viaje. En algunos casos, en la periferia del flujo, la temperatura pico y la concentración de partículas densas pueden ser tan efímeras que las personas incluso pueden sobrevivir al aire libre y a menudo las casas fuertes pueden proteger a las personas que permanecen dentro. Las oleadas piroclásticas son flujos diluidos que pueden dejar depósitos de pocos centímetros de espesor; sin embargo, pueden ser altamente destructivas cuando surgen del volcán a elevadas temperaturas y con altos niveles de energía. Muchos flujos piroclásticos vienen a levantar una oleada que se extiende varios kilómetros más lejos y la cual puede estar lo suficientemente caliente para causar quemaduras severas a la vegetación. También pueden estar presentes gases como vapor de agua, dióxido de carbono y de sulfuro, al menos en pequeñas concentraciones.

La primera oportunidad para investigar las causas de muerte por flujos piroclásticos fue luego del impacto de la erupción del Monte Santa Helena el 18 de mayo de 1980. A pesar de la alerta oficial y del establecimiento de zonas restringidas, más de 160 personas, incluyendo unos pocos leñadores, estaban en cercanías del volcán en el momento de la erupción. Las líneas de árboles descuajados marcaron un abrupto punto de corte de las máximas fuerzas dinámicas en una área de destrucción a más de 27 km del cráter. Las autopsias de los 25 cuerpos recuperados mostraron que 17 muertes ocurrieron por asfixia al inhalar cenizas y 5 por lesiones térmicas (7). Tres de los muertos eran leñadores en un paraje a 19 km del cráter; dos sobrevivieron al flujo pero sufrieron quemaduras de segundo y tercer grado que afectaron el 33 y el 47% de sus superficies corporales, respectivamente. Los dos leñadores murieron después por un síndrome de dificultad respiratoria del adulto inducido por la inhalación de partículas de cenizas calientes (8). Tres personas murieron con trauma cefálico por caídas de árboles (2) o rocas (1).

La tasa de mortalidad asociada con esta erupción fue cercana al 50% después de incluir aquéllos ubicados en la periferia del flujo, que también fueron contados. Este hallazgo es sorprendentemente bajo considerando que todas las víctimas y sobrevivientes fueron sorprendidos al aire libre en el momento de la erupción (9). La mejor evidencia disponible para la protección ofrecida por las viviendas se obtuvo después de la erupción del volcán San Vicente en 1902 (10). Las personas que se protegieron a sí mismas de la erupción dentro de casas firmes con ventanas selladas, sobrevivieron, mientras que aquéllas que permanecieron afuera murieron, al igual que los animales no protegidos. En una erupción del Monte Unzen en Japón en 1991, dos vulcanólogos y 39 periodistas murieron por una oleada de alta temperatura aunque 8 personas que estaban en casas cercanas y 1 dentro de un carro, sobrevivieron. Los hallazgos en estas diferentes erupciones tienen importantes implicaciones para la planeación de emergencias en viviendas levantadas alrededor de volcanes. Con todo, la evacuación debe ser la medida preventiva clave, dado que la magnitud y la energía de los flujos son impredecibles. Por ejemplo, en otra erupción en 1902 del Monte Pelee en Martinica, únicamente 2 de las 28.000 personas dentro del pueblo de Saint Pierre sobrevivieron al flujo piroclástico que devastó esa ciudad.

Avalanchas e inundaciones

Las avalanchas (deslizamientos de lodo es otra designación, pero no necesariamente precisa, para este escurrimiento de agua y detritos volcánicos) son frecuentes acompañantes de las erupciones y son, por lo menos, tan mortales como los flujos piroclásticos. El calor de los flujos piroclásticos, la lava y las ráfagas de vapor pueden fundir glaciares y nieve, o lluvias intensas pueden acompañar las erupciones de ceniza. Cuando el agua se mezcla con las cenizas y los detritos de roca, se forma un enorme volumen de material cuya consistencia varía desde un escurrimiento diluido hasta una pasta delgada o un concreto húmedo. Los lagos en el cráter, si están presentes, pueden ser también una fuente importante de agua y las avalanchas pueden expandir mucho más su volumen cuando fluyen por los lagos y cuando se les incorpora tierra suelta que se ha erosionado de los valles del río. Una gran avalancha es capaz de aplastar todo a su paso incluyendo casas, carreteras y puentes. Después de la erupción del Monte Santa Helena, las avalanchas viajaron por los ríos Cowlitz y Toutle y entraron por el río Columbia tan lejos como a la ciudad de Portland. El promedio de velocidad de este flujo a lo largo del valle fue tan sólo de 32 km por hora, lo que dió tiempo para que las personas que vivían en su ruta escaparan (11). En contraste, en 1985 la falta de preparación resultó en la gran avalancha del volcán Nevado del Ruiz en Colombia que enterró la ciudad de Armero a 48 km de distancia y causó la muerte a 23.000 personas (12). Dado que los valles de los ríos son los cursos naturales de las avalanchas, las inundaciones pueden ser una consecuencia inmediata ya que los detritos caen en los ríos y lagos. Adicionalmente, los materiales alteran los niveles y cursos de los ríos existentes, produciendo un serio riesgo de futuras inundaciones si ocurren lluvias intensas. Las inundaciones también pueden ser causadas por las avalanchas en lagos o por hielo y nieve derretida. Las grandes erupciones como la del Monte Pinatubo, llenan valles profundos con piroclasto y otro material eruptivo y las intensas lluvias pueden movilizar el material durante años. El agua que rebasa los ríos y canales, rápidamente erosiona las riberas y las viviendas cercanas son socavadas o inundadas rápidamente. Este problema ha sido particularmente serio en las áreas planas alrededor del Monte Pinatubo y ha resultado en el desplazamiento de decenas de miles de personas.

Precipitación de ceniza

Las cenizas caídas, fruto de grandes erupciones, pueden causar destrucción y daño ambiental en amplias áreas, tan lejos como cientos de kilómetros abajo del volcán. Las grandes precipitaciones de cenizas (más de 25 cm de espesor) pueden poner en riesgo la vida por el peso sobre el techo de las edificaciones. En el pasado, ese peligro no había sido enfatizado lo suficiente, como lo ilustran dos recientes erupciones. En la del Monte Santa Helena, el impacto y el tamaño de ellas en el centro del estado de Washington no había sido anticipado (13). Aunque el espesor máximo de la ceniza fue levemente mayor de 4 cm (figura 9.1), cuando la nube del 18 de mayo arribó, todas las

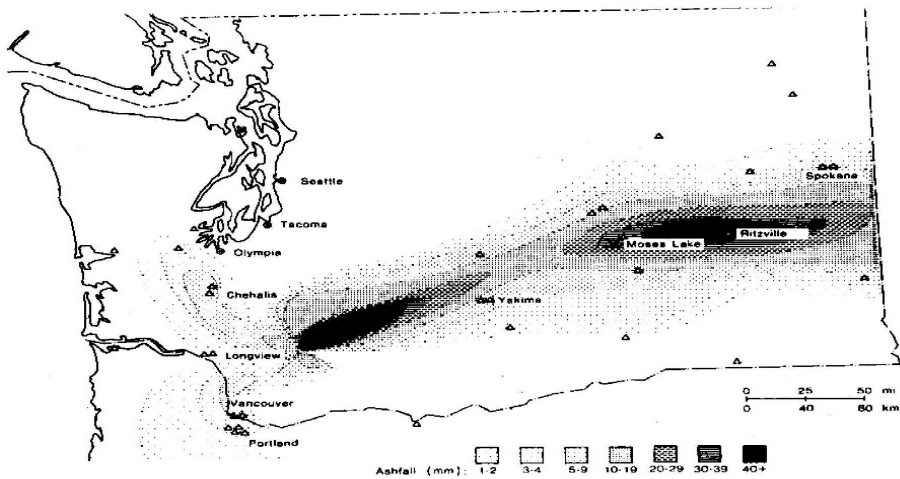


Figura 9-1. Profundidad máxima de la caída de ceniza de la erupción del Monte St. Helens, estado de Washington, 1980.

actividades económicas, especialmente las vías, el metro y el transporte aéreo, se pararon durante 5 días por la drástica reducción de la visibilidad como resultado de la interferencia causada por la ceniza suspendida en el aire. La parálisis continuó hasta que un inesperado aguacero compactó la ceniza y la adhirió al terreno. Las tres grandes erupciones de 1980 fueron de mediana magnitud para el Monte Santa Helena, el cual en una erupción pasada había dejado un depósito de cenizas de 30 cm de espesor a una distancia de 80 km. Dependiendo de la dirección predominante del viento, si semejante caída de ceniza ocurriera hoy, podría causar trastornos masivos en ciudades tan grandes como Portland, Oregon, al oeste del volcán. En 1991, en el Monte Pinatubo, por lo menos, murieron 300 personas y un número similar fue seriamente lesionado en edificaciones cuyos techos colapsaron bajo el peso de la ceniza; aunque el espesor en algunas de las ciudades afectadas sólo fue de 10 cm, su densidad estaba aumentada por las intensas lluvias que hubo durante la erupción (14).

Una nube volcánica que contenga ceniza y gases viajará en la dirección predominante del viento llevando muy lejos las partículas más finas y livianas. Los gases y otros materiales volátiles son adsorbidos en las partículas de ceniza, y al ser rápidamente solubles, serán sacados por la lluvia en las corrientes de agua o en lo que se siembra. Dependiendo del tipo de volcán, el flúor del ácido sulfhídrico puede ser un riesgo tóxico durante la caída de cenizas. Los granjeros en Islandia son conscientes del peligro de las erupciones del volcán Hekla, pues tan sólo 1 mm de depósito de ceniza sobre la hierba mató miles de ovejas. También se pensó que el envenenamiento por flúor mató al ganado después de la erupción del Lonquimay en Chile, 1988. Muchas ovejas también murieron después de la erupción del monte Hudson en Chile en 1991, pero esas muertes fueron probablemente debidas a inanición más que a causas tóxicas (15). Durante las grandes erupciones, una placa profunda de ceniza puede causar gran

fatiga a los animales de forraje que pueden ser incapaces de encontrar alimento o fuentes adecuadas de agua.

La ceniza volcánica se puede producir por la explosión y el desmoronamiento de rocas viejas (líticas) así como por la descarga de presión sobre el magma (líquido fresco de roca) dentro del volcán. El tamaño de las partículas y su composición mineral varía entre volcanes y aun entre erupciones de un mismo volcán. Las cenizas emitidas recientemente imparten un olor sulfuroso o picante al aire y el material volátil adherente se adiciona al efecto irritante que las cenizas finas pueden tener sobre los pulmones. Las partículas de ceniza producidas en erupciones explosivas son a menudo lo suficientemente pequeñas para ser rápidamente inhaladas en lo profundo de los pulmones y las partículas más gruesas pueden alojarse en la nariz o en los ojos e irritar la piel. En la caída de cenizas del Monte Santa Helena (18 de mayo de 1980), más de 90% de las partículas estaban en el rango respirable (<10 micras).

Efectos respiratorios y oculares

Las erupciones del Monte Santa Helena de 1980 permanecen como el único ejemplo bien documentado en el cual la vigilancia epidemiológica fue asumida después de una erupción volcánica (16). Las tendencias en las visitas a salas de urgencias y los ingresos hospitalarios después de cada erupción revelaron incrementos en el número de pacientes en busca de tratamiento para el asma y la bronquitis (figura 9.2) (16). Además, un estudio de hogares en Yakima, Washington, mostró que cerca de un tercio de los pacientes con enfermedad pulmonar crónica que no enfermaron lo suficiente como para acudir al hospital en el momento de la erupción, de todos modos experimentaron una marcada exacerbación de sus síntomas respiratorios durante el período en que subieron los niveles de cenizas respirables que continuaron elevados por más de 3 meses después de la erupción (17). Esos pacientes indudablemente estarían más seriamente afectados si no hubiesen atendido el aviso de las autoridades de salud pública y su propio sentido común para permanecer en casa durante las peores condiciones. No se atribuyeron muertes a los efectos respiratorios de las cenizas. A pesar de la falta de datos epidemiológicos, hay pocas dudas de que el impacto de erupciones similares sería mayor en los países menos privilegiados donde las casas resisten menos la filtración de partículas. Así, en 1992, después de la erupción de Cerro Negro en Nicaragua, se reportó un incremento en los casos de asma pero la subutilización de los servicios de salud por la población hizo imposible un abordaje completo de la magnitud del impacto. En contraste, un sistema de vigilancia epidemiológica establecido por el Departamento de Salud de Filipinas después de la masiva caída de cenizas del Monte Pinatubo, no encontró ningún incremento en los problemas respiratorios en las comunidades afectadas, hallazgo inesperado que puede atribuirse a la compactación y la sedimentación de las cenizas por las intensas lluvias que acompañaron la erupción.

En las erupciones del Pinatubo y el Santa Helena (18), la ceniza contenía de 3 a 7% de cristal de sílice, un mineral que causa silicosis; la mayoría de las partículas estaba en el rango respirable. La exposición ocupacional a cenizas suspendidas de trabajadores

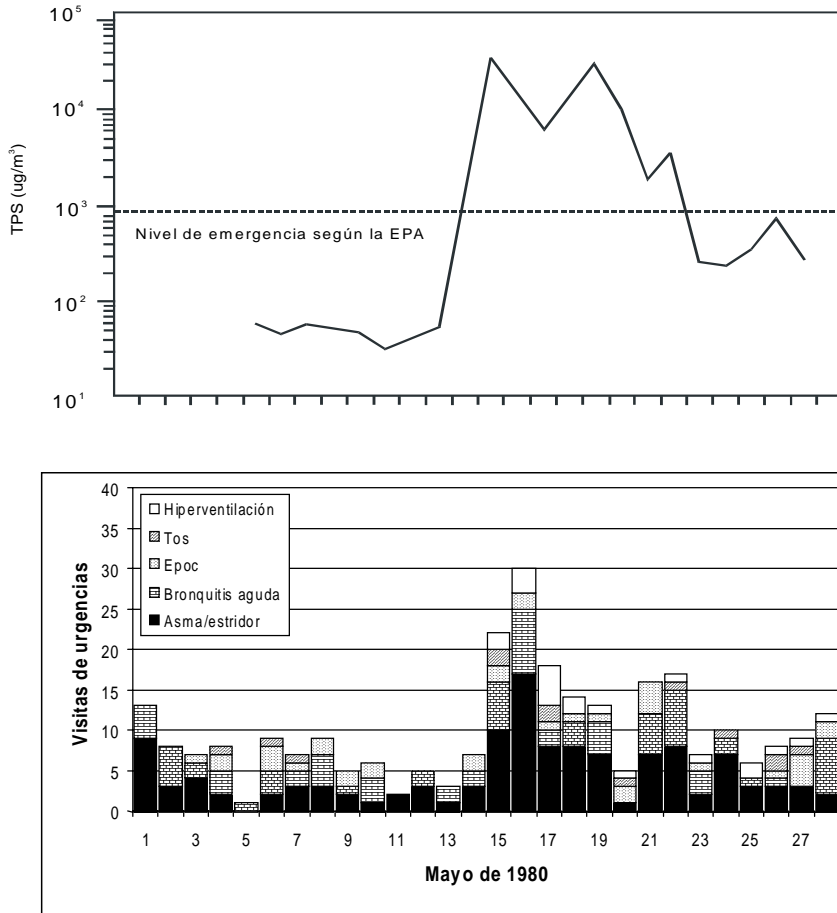


Figura 9-2. Superior: concentración total de partículas en suspensión (TPS) de la gran cantidad de partículas de ceniza producidas por las explosiones de la erupción del Monte Santa Helena, estado de Washington, 1980.

Inferior: las tendencias de las consultas a urgencias después de la erupción del Monte Santa Helena, estado de Washington, 1980, revelaron un aumento del número de pacientes que buscaban tratamiento para el asma y la bronquitis.

al aire libre, por parte de grupos como leñadores y trabajadores de fincas, podría ser potencialmente alta para causar silicosis si se mantuviere, por ejemplo, como resultado del volcán que repetidamente y por años emite cenizas. Mucha más ceniza emanó del Pinatubo en 1991 que la precipitación de este material que se dio durante las estaciones secas de los años subsecuentes.

La irritación de los ojos y las abrasiones menores de la córnea pueden resultar de las partículas de ceniza que entran en el ojo. Esos efectos no son normalmente serios, pero quienes trabajan al aire libre y quienes usan lentes de contacto deben usar máscaras o gafas protectoras cuando trabajan fuera.

Colapso de edificios

Muchas edificaciones son vulnerables a la acumulación de pesadas cenizas, especialmente si están húmedas. En la erupción del Pinatubo, las edificaciones con luces amplias como iglesias y edificios públicos, tenían 5 veces más riesgo de colapso que las viviendas (14). La susceptibilidad de las grandes construcciones al colapso es especialmente importante dado que se pueden usar como albergue para grupos de personas desplazadas. Las viviendas endebles son especialmente propensas a colapsar bajo el peso de las cenizas. Las acumulaciones de ceniza pueden ser rápidas (tanto como 25 cm en una hora) en ciertas erupciones. Las advertencias para mantener libres de ceniza los techos pueden ser imposibles de seguir en tales circunstancias y pueden ser necesarios dictámenes especiales para reforzar temporalmente los tejados con soportes o albergarse en las partes más resistentes de la casa mientras cesa la caída de cenizas.

Efectos tóxicos

Las cenizas se deben examinar de rutina para determinar su toxicidad química después de las erupciones, ya que la gente está usualmente ansiosa del riesgo real o imaginado para la salud humana y del ganado. Los animales de pastoreo se pueden envenenar a través de la hierba o de las aguas con cenizas. Además, el pH de los ríos puede estar disminuido por la ceniza ácida y, entonces, se comprometen los peces. Los lagos y los ríos usados por humanos y animales para beber agua se deben examinar si se sabe o se sospecha que puedan tener un alto contenido de flúor. Niveles elevados de flúor (tan altos como 9 ppm) se midieron en arroyos después de las erupciones del Hekla en 1947 y 1990 en Islandia. Las personas susceptibles también podrían tener reacciones adversas por beber aguas contaminadas y, por tanto, es mejor dar aviso para que usen fuentes alternativas hasta que desciendan los niveles, lo que puede ocurrir en pocos días, especialmente después de lluvias intensas.

Riesgo de radiación ionizante

El radón se puede emitir en grandes cantidades en las columnas de erupción donde es improbable estar en alto riesgo, pero el radón se puede adherir a las partículas de ceniza y exponer a la población en riesgo a la radiación. Las cenizas mismas pueden tener un alto contenido de uranio y se requiere examinar su radiactividad si proviene de un volcán con magma bien diferenciado. El usar ciertos materiales volcánicos para construir viviendas en algunas partes de Italia ha resultado en elevados niveles de radón en el aire intradomiciliario.

Efectos en la salud mental

Como en otro tipo de desastres naturales o situaciones caóticas, la amenaza de una inminente erupción volcánica o el tener que vérselas con el resultado de una gran

erupción, pueden llevar a la ansiedad o la depresión o a experimentar desórdenes de estrés postraumático. Los trastornos y alteraciones de la vida normal causados por fenómenos como las repetidas caídas de cenizas, la contaminación del aire por gases volcánicos o la continua amenaza de avalanchas afectan sobre todo a las familias reubicadas, o a quienes han visto destruidas o severamente averiadas sus casas, negocios o granjas. Por ejemplo, aunque no hubo evidencia de daño mental severo luego del impacto de la erupción del Monte Santa Helena (18/05/80), en las comunidades locales la gente experimentó reacciones adversas en salud mental (19) (ver capítulo 6 'Consecuencias de los desastres en la salud mental').

Riesgos en transporte

Virtualmente todos los medios de transporte paran ante una intensa caída de ceniza dada la impenetrable oscuridad y su efecto negativo sobre los motores de automóviles, trenes y aviones. En el peor pero más probable escenario futuro, las ciudades caerían en una virtual parálisis por días en el caso de una masiva caída de ceniza, con todas las obvias implicaciones para los servicios de emergencia y las líneas vitales. Las varadas y los accidentes vehiculares debidos a la poca visibilidad o las vías resbaladizas, pueden sumarse al caos. Una tarea importante de los agentes de tránsito es controlar el paso de vehículos para permitir solamente el de los esenciales.

Problemas con las comunicaciones

No sólo los servicios de transporte se verán severamente afectados por las cenizas, sino que las transmisiones de radio y televisión pueden sufrir una seria interferencia mientras la ceniza está cayendo y las antenas se pueden dañar por las elevadas precipitaciones. Los sistemas telefónicos rápidamente se sobrecargan con personas ansiosas. Los teléfonos, los equipos de transmisión y las computadoras se dañan fácilmente por las partículas finas infiltrables. Las comunicaciones por satélite cumplen un invaluable papel cuando están disponibles.

Problemas con los servicios públicos

La ceniza húmeda es un buen conductor de la electricidad y una placa de ceniza sobre un aislante no protegido puede provocar un cortocircuito en un equipo externo y, en consecuencia, interrupciones de energía. Además, los ingenieros se pueden ver impedidos en sus tareas de reparación si la visibilidad es tan restringida que no pueden mover los vehículos. Muchas de las consecuencias de las interrupciones de energía son bien conocidas, pero menos obvia es la falla en el suministro de agua dependiente del bombeo eléctrico.

Los suministros de agua también se pueden ver restringidos por la caída de cenizas en los reservorios y ríos, que causan obstrucciones en las entradas y plantas de

filtración. Además, la calidad del agua puede estar comprometida por turbidez y cambios del pH. La maquinaria para la disposición de basuras se ve rápidamente sobrecargada y puesta fuera de acción por la ceniza abrasiva.

Relámpagos

Intensos relámpagos frecuentemente acompañan a las nubes de ceniza a muchos kilómetros del volcán y se pueden sumar a la sensación general de alarma y temor. La caída de rayos sobre el terreno puede causar muertes e incendios en la vecindad de un volcán.

Riesgos infecciosos

Los detritos y las cenizas que caen alrededor de los volcanes pueden obstruir los ríos y rellenar los lagos y las inusuales inundaciones y acumulaciones de agua pueden favorecer la transmisión de enfermedades infecciosas endémicas como leptospirosis y malaria (ver capítulo 5, 'Enfermedades transmisibles y su control').

Gases

Los volcanes elevados ejercen un efecto de "chimenea" que, junto con el calor y la fuerza de una erupción, resultan en la dispersión de gases en la atmósfera. Sin embargo, hay ocasiones en las cuales los gases pueden concentrarse, o ser liberados, en el suelo. Algunos volcanes liberan rápidamente gases durante los períodos de silencio entre las fases eruptivas mayores. Una investigación reciente ha demostrado que aun los volcanes con mínima evidencia de actividad pueden estar liberando dióxido de carbono y radón desde el magma profundo por difusión en el terreno (20) y el flujo de esos gases podría elevarse rápidamente después de una erupción. Las muertes provocadas por los gases son raras comparadas con otras muertes relacionadas con los volcanes, aunque se debe admitir que los efectos de los gases sobre los humanos durante las erupciones no han sido bien documentados.

Las emisiones volátiles principales son vapor de agua, dióxido de carbono (CO_2), ácido sulfhídrico (H_2S) y dióxido de sulfuro (SO_2), seguidos de ácido clorhídrico (HCl), ácido fluorhídrico (HF), monóxido de carbono (CO), hidrógeno (H), helio (He) y radón (Rn). Las emisiones volátiles inorgánicas, como mercurio, también pueden ser importantes en ciertos volcanes (por ejemplo, en Kilauea, con el potencial de contaminación ambiental). Los materiales orgánicos volátiles (por ejemplo, hidrocarburos polinucleares aromáticos y halogenados) también pueden ser detectados en pequeñas cantidades en nubes eruptivas, particularmente si el calor de la erupción ha incinerado árboles y otros vegetales. En las nubes de las erupciones del Monte Santa Helena también se encontraron apreciables cantidades de sulfuro de carbonilo, disulfuro de carbono y dióxido de nitrógeno (21).

Desde el punto de vista de los efectos en salud, los gases volcánicos pueden ser clasificados como asfixiantes (dióxido de carbono) o como irritantes respiratorios (dióxido de sulfuro). La acumulación de gases asfixiantes en concentraciones letales es más probable en las pendientes de un volcán, dentro de un cráter o cerca de una fisura, mientras que los gases irritantes pueden ejercer sus efectos a mucha menor concentración a muchos kilómetros del volcán.

Volcanes inactivos

Los animales que pacen en la cercanías o sobre las pendientes de ciertos volcanes peligrosos se han asfixiado, probablemente por CO_2 , el cual es más denso que el aire. También se ha reportado que el ácido sulfhídrico mata pájaros y causa ceguera en las ovejas. Quienes merodean en las áreas volcánicas también están en riesgo por los gases asfixiantes. Cerca de las fumarolas, la presencia de gases ácidos altamente irritantes hace difícil la respiración cuando se alcanzan altas concentraciones y esa intolerancia ayuda a proteger contra la sobreexposición - al menos irritante pero más venenoso gas - H_2S (20). Sin embargo, han ocurrido muertes en clima apacible sobre el volcán Kusatsu-Shirane en Japón, donde las emisiones han sido principalmente H_2S y CO_2 . Los esquiadores no percibieron que el H_2S estaba presente (el olor a huevo descompuesto de ese gas no se puede detectar en concentraciones elevadas). Los vulcanólogos que trabajan en áreas de cráter también pueden no percibir la presencia de H_2S y siempre deben portar un medidor para detectarlo (20).

Las emisiones de gas, en el suelo de los flancos de los volcanes o en calderas inactivas, pueden ser lo suficientemente elevadas para implicar riesgo dentro de las casas. Por ejemplo, en el poblado de Furnas en las Azores de 2.000 habitantes, levantado dentro de una caldera volcánica, se pudieron medir altas concentraciones de CO_2 y radón en las casas construidas.

Volcanes liberadores de gases

Varios ejemplos de volcanes que liberan gases y que, por tanto, implican riesgo para las personas que viven cerca por la polución de aire, se han encontrado en Centroamérica, donde la prevalencia de fuertes vientos se combina con la topografía para dirigir la nube a la zona habitada sobre los flancos de los volcanes. En 1986, en Nicaragua, la gente debió evacuar el área alrededor del volcán Concepción. La última crisis por emisión de gases en el volcán Masaya en Nicaragua cesó a principios de los 80, pero este volcán continúa una fase cíclica de liberación de gases cada 25 años, con severas consecuencias para la agricultura, particularmente para las plantaciones de café en las faldas del volcán (22). Los efectos del volcán San Cristóbal, también en Nicaragua, no se han estudiado, pero las nubes de gas pueden viajar pendiente abajo a zonas pobladas durante algunos días, dependiendo de las condiciones climáticas. En 1993, durante las erupciones del volcán Kilauea en Hawaii, se tomaron muestras de gases para descartar una amenaza de alta exposición a SO_2 en la población local (23).

Uno de los ejemplos más intrincados de volcanes liberadores de gas ocurrió con el Poas en Costa Rica, el cual liberó gases a través de un lago-cráter. Desde 1986, el lago ha evaporado cíclicamente a bajo nivel durante sucesivas estaciones secas y se llenaba nuevamente durante las estaciones lluviosas. Los principales gases en la nube son: dióxido de carbono, dióxido de azufre, ácido sulfhídrico, ácido clorhídrico y ácido fluorhídrico, pero las epidemias de compromisos respiratorios en las comunidades sobre las faldas del volcán y el daño a los cultivos han sido debidas probablemente a los aerosoles ácidos concentrados que se generan cuando cae el nivel del lago. Otra materia en partícula fina se forma por las rocas disueltas en las aguas ácidas del lago y esta materia también se puede introducir en la nube. Durante un período de varios meses en 1994, la actividad del volcán y la emisión de gases hicieron un pico y se usó un equipo para monitorizar los niveles de SO_2 en la población cercana a los flancos del volcán.

En la nube, el dióxido de azufre y los aerosoles finos de ácido sulfúrico probablemente son los componentes más importantes en lo que concierne a la salud respiratoria de los humanos. La irritación aguda de las vías aéreas puede llevar a efectos dañinos desde la constricción de pequeñas vías aéreas en adultos sanos (concentraciones en el aire inspirado de 1-5 ppm por unos pocos minutos) a franca asma entre personas susceptibles (niveles tan bajos como 200 ppb) (24).

Los aerosoles ácidos se pueden generar a partir de la formación de una burbuja gaseosa en la superficie de los lagos cráter o, posiblemente, dentro de los cráteres y esos aerosoles pueden evaporarse para formar finas partículas submicrométricas capaces de viajar grandes distancias en una nube. Los niveles a los cuales los aerosoles ácidos pueden causar efectos adversos en la salud son controvertidos. El dióxido de azufre es un buen marcador cuando es componente de las nubes y ha sido bien estudiado como contaminante del aire en los países industrializados. Los efectos en la salud pueden ser causados también por la mezcla de otros componentes en la nube y no debe darse tanta relevancia solamente a las concentraciones de SO_2 como indicador del riesgo en salud. Todos los volcanes liberadores de gases deben ser activamente monitorizados, dado que los incrementos súbitos en el flujo de gas pueden ser un aviso de una nueva y violenta actividad eruptiva. Además, si las concentraciones en el aire en áreas habitadas exceden rápidamente los estándares de calidad del aire para SO_2 de la Organización Mundial de la Salud (OMS) (25), las comunidades afectadas pueden necesitar informes sobre las medidas de protección respiratoria o sobre la conveniencia de la evacuación.

Emisiones de gas en erupciones

El potencial de descargas catastróficas de gases en erupciones volcánicas fue demostrado en Dieng Plateau, en Java en 1979, cuando 142 personas murieron mientras intentaban huir de una erupción leve. Aparentemente, estaban agobiados por una poderosa emisión de CO_2 de una fuente a menos de dos kilómetros arriba, sobre los flancos del volcán (26). El engañoso riesgo que los gases pueden implicar fue ilustrado

en 1973 en Vestmannaeyjar, en la isla de Heimaey, Islandia, cuando una erupción a través de una fisura, comenzó sin aviso y la ciudad debió ser evacuada rápidamente. Los trabajadores salvaron las casas de copiosas precipitaciones de ceniza, pero estaban acosados por las acumulaciones de gas, particularmente CO_2 y por monóxido de carbono y metano que se filtraban a través del suelo dentro de las edificaciones (27). La posibilidad de fisuras y agujeros súbitamente abiertos que liberen gas de los volcanes en erupción es una amenaza importante que se debe considerar en la planeación de desastres. Para que el CO_2 fluya hacia los valles bajos, debe ciertamente ser liberado a temperaturas no mucho más altas que las del aire ambiente. Entonces, la fuente es probablemente un reservorio por debajo del terreno o dentro del volcán.

Un dramático ejemplo de liberación masiva de CO_2 de un reservorio, en este caso de las placas del fondo del lago cráter, ocurrió en el lago Nyos, Camerún, el 21 de agosto de 1986 y resultó en la muerte de 1.700 personas (28). Cerca de un cuarto de millón de toneladas de CO_2 fluyó tan lejos como 20 km a lo largo del valle abajo del lago.

El área era una parte montañosa remota al norte de Camerún; en una región densamente poblada, la carga de muertes habría sido enorme. En 1984, un evento similar mató 37 personas. Ocurrió en el lago Monoun, el cual está situado a sólo 95 km al sudeste del lago Nyos. La causa de ambos eventos fue quizá un vuelco de las placas profundas en las cuales se había acumulado lentamente CO_2 de las fuentes de soda en el fondo del lago. Se han hecho sugerencias para liberar de gases los lagos Nyos y Mnoum; entretanto los dos lagos se están recargando lentamente con dióxido de carbono y siguen siendo una seria amenaza potencial. Afortunadamente, parece que hay muy pocos lagos semejantes en el mundo, pero en materia de volcanes, cualquier lago profundo (200 m o más) se debe considerar como potencialmente riesgoso.

Otros fenómenos peligrosos o eruptivos

Lluvia ácida

La lluvia ácida no implica un riesgo para la salud de los humanos aunque causa daño a la vegetación y las cosechas y tiene otros efectos ambientales adversos. La lluvia que cae a través de la nube de un volcán que libera gases, rápidamente disuelve el HCl, principal componente de la lluvia ácida volcánica. Las lluvias en el volcán Poas en Costa Rica o el Masaya en Nicaragua durante sus ciclos de liberación de gas, pueden tener un pH tan ácido como 2,5-3,5 cuando la gente se queja que la lluvia le irrita los ojos y la piel (22). En los países en vías de desarrollo, la lluvia ácida es a menudo recogida sobre los techos de las láminas metálicas de las casas y se usa como bebida. Los problemas de salud pueden surgir si la lluvia ácida disuelve metales y tiene alto contenido de flúor; la última situación podría ocurrir únicamente si la nube contiene una alta concentración de ácido fluorhídrico. Los aerosoles y la lluvia ácida corroerán los materiales de maquinaria o de cercas (por ejemplo, alambre de púas) y ataca los techos galvanizados y las superficies pintadas. En forma interesante, los capullos de las plantaciones de café parecen particularmente sensibles a la polución

del aire a niveles a los cuales también se presentan los síntomas respiratorios en humanos.

Flujos de lava

Los flujos de lava de los volcanes son destructivos, pero su poca velocidad permite a los habitantes evacuar el área afectada con tiempo. Infortunadamente, la gente no siempre tiene la oportunidad de escapar. En 1977, un lago de lava fluida en Nyiragongo, Zaire, drenó súbitamente y mató 300 personas (29); en 1994, una recurrencia potencial de este fenómeno mortal amenazó los campos de refugiados ruandeses en Goma, Zaire. Las barreras de contención y otros métodos de influjo sobre la dirección del flujo de lava pueden intentarse para mitigar sus efectos. Uno de los más interesantes y recientes ejemplos de tal mitigación ocurrió durante la erupción del monte Etna en 1991-1993, la mayor en tres siglos. La lava amenazaba la villa de Zefferana pero los ingenieros fueron capaces de desviar el flujo de lava con un canal artificial y limitar su avance. La posibilidad de una súbita liberación de lava fluida de una fisura cercana a otro asentamiento también requirió una estrecha monitorización durante la erupción principal (30).

Sismos

El inicio de una erupción explosiva puede ser anunciado por sismos localizados de magnitud 4-5, pero, dado que pueden ser bastante superficiales, su intensidad puede ser suficiente para colapsar estructuras y amenazar la vida. La limitada erupción de lava del Etna el 25 de diciembre de 1985, estuvo acompañada de varios temblores, uno de los cuales destruyó un hotel en la vecindad y mató una persona. Debe prestarse especial consideración no sólo a las viviendas sino a la posibilidad de colapso de puentes y deslizamientos sobre las vías que podrían bloquear las rutas de evacuación.

Tsunamis

Son olas marinas gigantescas producidas por explosiones y sacudidas subterráneas, capaces de devastar las líneas costeras. La mayor cantidad de muertes de una erupción en época reciente fue causada por tsunamis después de la erupción del Krakatoa en 1883, cuando se ahogaron 36.000 personas en las costas de las cercanas Java y Sumatra (2). La ocurrencia de un tsunami es impredecible pero las innovaciones tecnológicas ahora están haciendo posible avisar a las comunidades costeras del riesgo de uno que se avecina (es decir, uno que ocurriría como resultado de un maremoto). Otra causa importante de maremotos es el colapso de la pendiente de un volcán que corre hacia el mar.

Colapso de pendiente

La importancia de la estabilidad de las pendientes volcánicas se puso en claro para los vulcanólogos durante la erupción del Monte Santa Helena en 1980. La erupción se desencadenó por un terremoto que causó que la inestable pendiente norte cediera y una erupción mayor siguió a la liberación de presión sobre el magma. Los trabajadores

del campo alrededor de los volcanes en años recientes han confirmado que el colapso de la pendiente no es un fenómeno raro como se pensaba y muchos volcanes pueden mostrar algún grado de inestabilidad conforme incrementan su masa con la actividad eruptiva en el tiempo. La falla masiva de la estructura ha ocurrido cerca de cuatro veces cada siglo durante los pasados 500 años (31). Cuando el volcán Unzen hizo erupción en Japón en 1792, desencadenó el colapso del complejo del Monte Mauyama y originó uno de los peores desastres naturales en Japón (tabla 9.2); la pendiente se deslizó dentro del mar y el maremoto resultante envió los asentamientos al otro lado de la bahía. Doscientos años después, surgió la ansiedad de una posible recurrencia de este terrible fenómeno cuando se reactivó el volcán. Infortunadamente, en la actualidad es imposible predecir exactamente tales eventos, pero, ciertos volcanes activos que parecen inestables (por ejemplo, el Calima en México y el San Agustín en Alaska) están siendo estrechamente vigilados.

Implicaciones en salud pública y medidas preventivas

En la mayoría de las áreas volcánicas, el tiempo entre una erupción mayor y otra es tan largo que la gente no recuerda el desastre (pobre ‘memoria de desastres’) o no establece un grupo de estrategias tradicionales para protegerse. Aun en aquellas áreas donde las erupciones cegaron varias vidas en cada generación (por ejemplo, el Merapi en Indonesia), las comunidades tienden a reasentarse en los mismos lugares peligrosos.

Ya que la reactivación de un volcán usualmente será una nueva experiencia para una o varias generaciones de habitantes, hay comúnmente una aceptación del riesgo con otros riesgos en la vida. Cuando una erupción inicia su amenaza o los trabajadores en desastres intentan asumir la planificación como parte de un proyecto de mitigación, los ciudadanos y las autoridades usualmente poco creen que la erupción pueda darse y la descripción de los vulcanólogos sobre los fenómenos eruptivos puede que no los impresione. Sobre todo, la amenaza de trastornos económicos por la actividad volcánica influye fuertemente en la percepción del riesgo en la comunidad. En consecuencia, la gente, o por lo menos, sus líderes políticos, pocas ganas tienen de tratar con criterios de alerta y evacuación u otros aspectos potencialmente alarmantes en la preparación de la comunidad. La evacuación de ciudades suscita interrogantes sobre la viabilidad en la comunidad y es improbable a menos que los vulcanólogos puedan casi que garantizar que ocurrirá una gran erupción. En la medida en que la predicción volcánica permanezca como ciencia inexacta, quienes toman las decisiones localmente verán en los riesgos volcánicos un asunto político muy difícil. Sin embargo, se han dado dos respuestas exitosas que resultaron en decenas de miles de vidas salvadas en las erupciones del Monte Pinatubo en 1991 y en Rabaul, Nueva Guinea, en 1994. Cinco mil personas fueron evacuadas alrededor del Pinatubo y 30.000 en Rabaul; en ambos, los anuncios de erupción eran obvios y los habitantes necesitaron poca persuasión para dejar el área rápidamente dentro de las 24 horas transcurridas entre el momento en que

se sintieron los primeros temblores y ocurrió la erupción cataclísmica. Ese éxito debe resaltarse en el desarrollo de estrategias ante futuros trabajos de mitigación.

Preparación ante el desastre

Aunque una de las principales metas del sistema de Naciones Unidas (DIRDN) en la materia es asegurar que el levantamiento de mapas de las amenazas volcánicas se extienda rápidamente a tantos volcanes peligrosos como sea posible, la respuesta hasta la fecha ha sido lenta. En consecuencia, el principal desafío para los vulcanólogos en el futuro cercano será conducir un rápido establecimiento del riesgo para volcanes no estudiados que han comenzado a amenazar poblaciones con renovada actividad. Una breve descripción de los principales aspectos de la preparación es la siguiente.

Evaluación de la amenaza

Involucra el estudio y el levantamiento del mapa de la geología estratigráfica del volcán, incluyendo sus productos eruptivos previos. Esta tarea, que puede tomar varios años para un gran volcán, requiere un grupo de expertos y considerables recursos. En terrenos inhóspitos o difíciles, la labor puede ser logísticamente complicada. Su propósito es caracterizar la frecuencia y la magnitud de la actividad previa y usar los hallazgos para predecir las probabilidades de diferentes tipos de erupciones futuras y sus consecuencias (32,33).

En una situación particularmente amenazadora, sólo puede haber tiempo para un abordaje rápido en pocos días o semanas. Esto puede ser suficiente para caracterizar el grado de peligro (por ejemplo, en el Monte Pinatubo, un breve estudio de campo fue suficiente para reconocer la magnitud de los flujos piroclásticos pasados y apreciar el extremo peligro de otra explosiva erupción).

Evaluación del riesgo

En colaboración con los vulcanólogos, las autoridades de preparación en desastres deben desarrollar un rango de escenarios que contemple desde las más pequeñas hasta las mayores erupciones posibles, junto con el evento más probable. Este último escenario se debe usar sobre las bases de la planificación de emergencia. Esta táctica es preferible a la usual para producir un 'mapa de amenaza' que puede ser falsamente registrado como el más exacto o como la única versión de una futura erupción. Desde luego, la extensión de una erupción nunca se podrá presagiar exactamente y los vulcanólogos pueden tener desacuerdos en la interpretación de los hallazgos de los estudios de campo. Los escenarios deben ser usados por los planificadores en el establecimiento del riesgo que el impacto de una erupción tendría sobre la comunidad y su economía. En particular, se debe establecer la vulnerabilidad de las estructuras, (viviendas, hospitales y edificaciones usadas como albergue) y la infraestructura, (comunicaciones, líneas de energía). También se requiere incluir la vulnerabilidad de la comunidad (factores sociales y económicos que puedan llevar a incremento del riesgo).

El uso de los sistemas de información geográfica para desarrollar escenarios y mapas de riesgo están apenas comenzando ahora.

Planificación de emergencia

Usando los diferentes escenarios, todas las medidas usuales de planificación en desastres, incluyendo los planes de evacuación y los de búsqueda y rescate, deben ser establecidas con participación de las autoridades civiles y de personal de servicios de emergencia. Para el uso en crisis volcánicas, los sistemas de alarma y los criterios de evacuación son las medidas más importantes y difíciles de establecer.

Preparación de la comunidad

La percepción del riesgo en las comunidades casi siempre difiere de aquella entre los vulcanólogos. Las comunidades deben ser instruidas en cómo responder a las alarmas de inminentes erupciones y qué hacer si ocurre la erupción antes de terminar la evacuación. Puede ser necesario incluir en el entrenamiento, sobre todo a aquellos grupos especiales capaces de movilizarse por sí mismos donde están los casos, habilidades en búsqueda y rescate e instrucción en primeros auxilios.

Medidas específicas previas a la erupción

La reactivación de un volcán explosivo es una emergencia en salud pública y la respuesta inicial más apropiada es considerar y planificar para el peor tipo de evento que se podría esperar (34,35). Se debe establecerse que el comité de planificación de desastres incluya profesionales al cuidado de la salud. Ese comité debe tener en cuenta los siguientes pasos cuando planifica la asistencia a quienes viven en la vecindad del volcán:

- Designar áreas para evacuación e identificar las áreas en riesgo. Esas medidas preventivas claves son decisiones esencialmente tomadas por las autoridades de gobierno después de la consulta con vulcanólogos. Se debe considerar también la información de las autoridades de salud (por ejemplo, la factibilidad de evacuar los enfermos, los ancianos y los muy jóvenes con cortos anuncios). La salud y el bienestar de las personas evacuadas temporalmente o por largos períodos es también asunto de salud pública. La seguridad de los grupos específicos de trabajadores a quienes se permite entrar en áreas peligrosas requiere cuidado. Se debe difundir información a todos los trabajadores sobre el riesgo y los beneficios del trabajo en esas áreas.
- Desarrollar planes de búsqueda y rescate para localizar y salvar de la muerte a cualquier sobreviviente abandonado después de la erupción. Esos planes también deben incluir la designación de sitios para las estaciones de atención de urgencias en campo y morgues. Determinar qué personal estará en esos sitios.
- Desarrollar procedimientos para evaluar la eficacia de los planes de

emergencia en los hospitales locales, especialmente para una llegada súbita de víctimas con 1) quemaduras y daño pulmonar por inhalación de cenizas calientes en flujos piroclásticos, 2) varios tipos de trauma por avalanchas, colapso de edificaciones, precipitación de cenizas y oleadas piroclásticas.

- Proveer equipo de emergencia para la monitorización del aire para detectar gases tóxicos dentro de las casas y en el aire ambiente.
- Establecer un sistema de vigilancia epidemiológica.

Además, la planeación ante las intensas precipitaciones de cenizas sobre una amplia zona, si es aplicable, debe incluir lo siguiente:

- Proveer facilidades de laboratorio con el fin de recoger y analizar cenizas para elementos tóxicos lixiviables y para monitorizar la calidad del agua de consumo. Deben estar disponibles laboratorios especiales para medir el tamaño de las partículas de ceniza y el contenido de cristales de sílice.
- Proveer equipo para monitorizar las exposiciones a cenizas en la comunidad y entre quienes trabajan a la intemperie.
- Si está indicado, tener reservas de máscaras livianas de alta eficiencia para distribución al público después de una caída de ceniza. Los mejores protectores oculares y respiratorios pueden ser necesarios para los trabajadores de emergencia y otros trabajadores a la intemperie.
- Prepararse para posibles daños en los suministros de agua y en la disposición de desechos. Tal preparación debe asegurar la adecuada cloración del agua o los avisos para que se hierva.
- Mantener los servicios de urgencias y hospitalarios.
- Proveer un albergue de emergencia y apoyo alimentario.
- Avisar a los residentes de las comunidades afectadas sobre las medidas protectoras para combatir el sobrepeso y colapso de los techos en las intensas precipitaciones de cenizas.

Medidas posteriores a la erupción

Una pequeña erupción de un volcán explosivo puede ser el prelude de una mucho mayor en cuestión de días, semanas o meses. Viceversa, las grandes erupciones pueden ser seguidas por una sucesión de otras más pequeñas, durante el tiempo en el cual el volcán puede permanecer extremadamente peligroso. En efecto, el comportamiento peligroso de un volcán puede recurrir en los siguientes meses o años durante la formación de la cúpula, proceso en el cual el magma es empujado a la cima del volcán, conforme se va formando. Las cúpulas pueden colapsar y producir flujos piroclásticos. Esas incertidumbres requieren que el volcán sea monitorizado intensamente por un grupo de vulcanólogos, aunque no siempre puedan predecir su comportamiento.

Durante una crisis volcánica, se deben considerar los siguientes requerimientos:

- Establecer un comité de desastre de nivel nacional cuyos miembros reporten

a la cabeza de estado. Un designado del Ministerio de Salud o una persona de alto nivel es usualmente un miembro de ese comité. Aunque los asuntos de salud más prominentes, discutidos en ese comité, pueden girar alrededor de los evacuados y su salud y alrededor de formas para proveer suministros de apoyo adecuados a las áreas afectadas, y aunque la atención también se enfocará sobre la importancia de predecir cualquier actividad volcánica futura, los intereses de la población pueden ser desatendidos a menos que los profesionales de la salud estén involucrados en los esfuerzos de apoyo a la emergencia. Por ejemplo, las preguntas más frecuentes en las áreas de caída de ceniza son si el respirar ese aire, si el ingerir las cosechas o el pasto sobre el que cae la ceniza, o el agua de las fuentes superficiales o profundas alrededor del volcán, es seguro o no para humanos y animales. Estos asuntos deben ser abordados por las autoridades.

- Las autoridades deben establecer un equipo de salud con destrezas médicas, epidemiológicas y en salud comunitaria antes de la erupción y deben desplazar el equipo inmediatamente después. Su función es colaborar con otras agencias y dar aviso e información relacionada con todos los asuntos de salud surgidos con el desastre. Este grupo necesita establecer una vigilancia epidemiológica a través de una red de trabajo que incorpore a los hospitales y los departamentos de urgencias en las áreas afectadas. Pueden ser necesarios rápidos estudios de campo para establecer la naturaleza de los problemas de salud en áreas de intensa caída de ceniza tan pronto como las condiciones de desplazamiento lo permitan. En particular, es importante que la ceniza sea recogida y examinada para toxicidad, al igual que el agua para la presencia de un amplio rango de aniones y cationes, particularmente flúor y metales pesados.
- El equipo de salud debe comunicarse con los vulcanólogos para determinar si la nube en las partes bajas del volcán puede causar contaminación del aire en las áreas pobladas. Normalmente, se puede establecer esto mirando el cráter desde un helicóptero o aeroplano o desde el terreno a una distancia segura. Los vulcanólogos también miden el flujo de SO_2 del cráter usando la técnica de la correlación espectrométrica (COSPEC).
- El público puede requerir estar informado sobre los efectos de la ceniza en los ojos y el sistema respiratorio. La monitorización epidemiológica de visitas a los centros médicos y hospitales dará importante información sobre los brotes de asma, por ejemplo, como también sobre la ocurrencia de otros problemas de salud o lesiones. Las personas ubicadas en campos de evacuados pueden estar en riesgo de enfermedades infecciosas como sarampión y pueden necesitarse programas especiales de vacunación. Esto sucedió en 1991, después de la erupción del Pinatubo.
- Los veterinarios, preferiblemente con entrenamiento en desastres, juegan un importante papel en la fase de respuesta. La salud de los animales de pastoreo debe ser monitorizada y establecerse un sistema de reporte de

muerres con el fin de excluir causas tóxicas. Los animales pueden tener malestar después de las erupciones o como resultado de quemaduras y otras lesiones y pueden vagar hasta morir exhaustos. Además, las personas pueden ser incapaces de cultivar su tierra por prolongados períodos si el espesor de las cenizas supera los 30 cm; los disturbios a largo plazo pueden también ser causados por el riesgo de avalanchas si se han acumulado grandes cantidades de detritos volcánicos en los flancos del volcán y pueden ser movilizados por intensas lluvias.

- La comunicación estrecha entre los vulcanólogos y el personal de salud es necesaria, con el fin de avisar a la población sobre la futura actividad volcánica y su impacto. La difusión regular de información es una parte esencial de las actividades post-erupción y los profesionales de salud necesitan estar estrechamente involucrados en el proceso. La radio y la televisión serán esenciales para la transmisión de alarmas y avisos pre y post-erupción. Se deben dar advertencias y equipo, incluyendo sistemas de alarma de emergencia, a quienes se permita vivir o trabajar en las áreas restringidas cerca al volcán.

Vacíos de conocimiento y recomendaciones para investigación

Nuestro limitado conocimiento del impacto agudo y a largo plazo de las erupciones sobre la salud humana necesita ser superado con urgencia, particularmente debido al amplio rango de los fenómenos eruptivos y de las consecuencias adversas para la seguridad y la salud que implican. La falta de estudios epidemiológicos bien concebidos para examinar tanto el impacto agudo como a largo plazo de las erupciones sobre las poblaciones limita nuestro entendimiento de los varios fenómenos naturales que bloquean nuestra habilidad para dar apropiada y oportuna asistencia en emergencia. Se requiere de más estudios epidemiológicos inmediatamente después de las erupciones, particularmente las que involucran flujos piroclásticos, avalanchas y caída de cenizas, para registrar las lesiones y los problemas de salud y así relacionarlos con los agentes lesivos.

Los profesionales de la salud deben colaborar con los vulcanólogos, ingenieros y planificadores de emergencias en el desarrollo de planes de preparación ante desastres en áreas de riesgo. En lo posible, se debe aprovechar el período de silencio de los volcanes para estudiarlos con el fin de obtener información que pueda ser de utilidad cuando se tornen nuevamente activos. Este tipo de estudios está aún poco desarrollado y para hacer que sean útiles se requiere de abordajes multidisciplinarios.

El establecimiento de las amenazas por parte de los volcanes más peligrosos del mundo está haciéndose muy lentamente y, a pesar del estímulo dado por el DIRDN, pocos volcanes han sido adecuadamente estudiados. El levantamiento de mapas es una tarea académica que requiere fondos adecuados, pero los cuerpos de investigación

de los países desarrollados son reacios a apoyar trabajos que ellos estiman aplicados y menos meritorios que aquéllos sobre los mecanismos. Se deben estandarizar las metodologías usadas en el levantamiento de mapas. Para los vulcanólogos, hay pocas experiencias más deprimentes que estar orgullosos de mostrar un crudo mapa de una zona de riesgo y decir que ya ha culminado la planeación. Generalmente, el mapa muestra unas cuantas líneas curvas a varias distancias del volcán, cada una marcando el pronóstico de un límite para el producto de la erupción. Infortunadamente, esas predicciones están basadas en unos pocos, si alguno, trabajos de campo. En ninguna parte del mundo se está haciendo rutinariamente la construcción de mapas sobre bases científicas y realistas para tornarlos en útiles abordajes del riesgo (analizando lo que llevan dentro esas líneas engañosamente curvadas). Indudablemente, se habrán logrado importantes avances cuando los modelos numéricos simulados acerca de los flujos piroclásticos, avalanchas y caídas de cenizas estén disponibles y se apliquen rutinariamente en el establecimiento de la vulnerabilidad. Se requiere desarrollar los sistemas de información geográfica para simplificar el manejo de grandes y dispares grupos de datos requeridos para el levantamiento de mapas y el desarrollo de escenarios.

Los trabajadores de salud pública y de cuidado primario en salud en áreas volcánicas necesitan ser educados en el riesgo de erupciones explosivas para que puedan entender la importancia de la preparación en desastres y actuar como comunicadores ante la población local. No sólo se requiere investigaciones acerca del desarrollo de métodos para mejorar la comunicación del riesgo de desastres, incluyendo estudios de percepción del riesgo en las comunidades, sino que los modelos médicos tradicionales necesitan incluir las causas sociales y de comportamiento que llevan a la vulnerabilidad.

El crecimiento de las poblaciones y las fuerzas económicas parecen llevar a la explotación de toda la tierra capaz del sostenimiento agrícola y del desarrollo industrial, incluyendo el turismo. La economía de las islas volcánicas es especialmente vulnerable. Infortunadamente, la planificación del uso de la tierra a largo plazo para minimizar el riesgo en las áreas volcánicas está aun en su infancia. Hoy, el énfasis está en la vida adaptativa o la coexistencia, con amenazas volcánicas y sobre un ideal de desarrollo sostenible, el cual, para muchas partes del mundo permanecerá remoto hasta que los perfiles de riesgo de muchos más volcanes se complete y las lecciones aprendidas sean aceptadas por los gobiernos y los ciudadanos.

Resumen

Para el año 2000, más de 500 millones de personas estarán viviendo alrededor de volcanes activos en el mundo y existe una urgente necesidad de incorporar la planeación en desastres dentro de las políticas de desarrollo sostenible en aquellos países en riesgo. Un amplio rango de fenómenos devastadores y letales ocurre en las erupciones volcánicas y su impacto es pobremente entendido. Los fenómenos más peligrosos son los flujos y las oleadas piroclásticas y las avalanchas. Las intensas lluvias de

ceniza tienen un amplio impacto, incluyendo muertes por colapso de edificaciones, efectos respiratorios en humanos, intoxicación por flúor en animales de pastoreo en áreas a cientos de kilómetros del volcán. El dióxido de carbono y el ácido sulfhídrico pueden causar asfixia cerca de las aberturas de volcanes, mientras que los gases irritantes, en particular el dióxido de sulfuro, los aerosoles ácidos y otros constituyentes de las nubes de volcanes liberadores de gas, pueden causar polución del aire en comunidades situadas abajo del volcán. Otros fenómenos eruptivos amenazantes o que dañan el ambiente, incluyen los sismos, los flujos de lava, los tsunamis y los colapsos de pendiente.

La prevención de las peores consecuencias de las erupciones explosivas requiere la activa colaboración de los trabajadores de la salud en la planeación. Los mapas de riesgo requieren de aplicación al escenario desarrollado para los diferentes tipos de erupción. En la fase post-erupción, los trabajadores de salud pública necesitan montar rápidamente un sistema de vigilancia en salud pública y deben dar aviso sobre un amplio rango de asuntos de salud. Su papel en el proceso de planificación en desastres debe ser integral.

Referencias

1. Tilling RI, Lipman PW. Lessons in reducing volcanic risk. *Nature* 1993;364:277-80.
2. Simkin T, Siebert L. *Volcanoes of the world*. 2nd. edition. Washington, D.C.: Smithsonian Institution; 1994.
3. Francis P. *Volcanoes. A planetary perspective*. Oxford: Oxford University Press; 1993.
4. McCormick MP, Thomason LW, Trepte CR. Atmospheric effects of the Mt. Pinatubo eruption. *Nature* 1995;373:399-404.
5. Tilling RI, editor. *Volcanic hazards. Short course in geology*. Washington, D.C.: American Geophysical Union; 1989.
6. Blong RJ. *Volcanic hazards: a source book on the effects of eruptions*. Sydney: Academic Press; 1984.
7. Eisele JW, O'Halloran RL, Reay DT, et al. Deaths during the May 19, 1980, eruption of Mount Santa Helenas. *N Engl J Med* 1981;305:931-6.
8. Parshley PF, Kiessling PJ, Antonius JA, et al. Pyroclastic flow injury, Mount Santa Helenas. May 18, 1980. *Am J Surg* 1982;143:565-8.
9. Bernstein RS, Baxter PJ, Falk H, et al. Immediate public health concerns and action in volcanic eruptions: lessons from the eruptions of Mount Santa Helenas, May 18-Oct. 18, 1980. *Am J Public Health* 1986;76(Suppl):25-38.
10. Baxter PJ. Medical effects of volcanic eruptions. 1. Main causes of death and injury. *Bulletin of Volcanology* 1990;52:532-44.
11. Lipman PW, Mullineaux DR, editors. *The 1980 eruptions of Mount Santa Helenas, Washington*. U.S. Geological Survey Professional Paper 1250. Washington, D.C.: U.S. Geological Survey; 1981.
12. Voight B. The 1985 Nevado del Ruiz volcano catastrophe: anatomy and retrospection. *Journal of Volcanological and Geothermal Research* 1990;44:349-86.
13. Saarinen TF, Sell JL. *Warning and response to the Mount Santa Helenas eruption*. Albany: State University of New York Press; 1985.
14. Spence RJS, Pomonis A, Baxter PJ. Building damage in the Mount Pinatubo eruption. In: Newhall C, editor. *The 1991 eruption of Mount Pinatubo, Philippines*. Reston, VA: U.S. Geological Survey; 1995.

15. Rubin CH, Noji EK, Seligman PJ, *et al.* Evaluating a fluorosis hazard after a volcanic eruption. *Arch Environ Health* 1994;49:395-401.
16. Baxter PJ, Ing R, Falk H, *et al.* Mount Santa Helenas eruptions, May 18-June 12, 1980: an overview of the acute health impact. *JAMA* 1981;246:2585-9.
17. Baxter PJ, Ing R, Falk H, *et al.* Mount Santa Helenas eruptions: the acute respiratory effects of volcanic ash in a North American community. *Arch Environ Health* 1983;38:138-43.
18. Dollberg DD, Bolyard ML, Smith DL. Crystalline silica in Mount Santa Helenas volcanic ash. *Am J Public Health* 1986;76(Suppl.):53-8.
19. Shore JH, Tatum EL, Vollmer WM. Evaluation of mental health effects of disaster. *Am J Public Health* 1986;76(Suppl.):76-83.
20. Baxter PJ, Tedesco D, Miele G, *et al.* Health hazards of volcanic gases. *Lancet* 1990;336:176.
21. Olsen KB, Fruchter JS. Identification of hazards associated with volcanic emissions. *Am J Public Health* 1986;76(Suppl.):45-52.
22. Baxter PJ, Stoiber RE, Williams SN. Volcanic gases and health: Masaya Volcano, Nicaragua. *Lancet* 1982;2:150-1.
23. Bernstein RS, Falk H, Greenspan J, *et al.* Assessment of respiratory, hazards associated with air pollutants from volcanic eruptions, Kilauea Volcano, Hawaii. Internal report (EPI-83-23-2). Atlanta, GA: Centers for Disease Control; 1984.
24. Advisory Group on the Medical Aspects of Air Pollution Episodes. *Sulphur dioxide, acid aerosols and particulates*. 2nd. report. London: HMSO Department of Health; 1992.
25. World Health Organization. *Air quality guidelines for Europe*. Copenhagen: World Health Organization; 1987.
26. Le Guern F, Tazieff H, Fajure PR. An example of health hazard: people killed by gas during a phreatic eruption: Dieng Plateau (Java, Indonesia), February 20, 1979. *Bulletin of Volcanology* 1982;45:153-6.
27. Williams SN, Moore JG. *Man against volcano: the eruption of Heimaey, Vestmannaeyjar, Iceland*. Washington, D.C.: U.S. Geological Survey; 1983.
28. Baxter PJ, Kapila M, Mfonfu D. Lake Nyos disaster, Cameroon. 1986: the medical effects of large scale emission of carbon dioxide? *Br Med J* 1989;298:1437-41.
29. Tazieff H. An exceptional eruption: Mount Nyiragongo, January 10, 1977. *Bulletin of Volcanology* 1976-77;40:188-200.
30. Barberi F, Villari L. Volcano monitoring and civil protection problems during the 1991-1993 Etna eruption. *Acta Vulcanologica* 1994;4:1-16.
31. Siebert L. Threats from debris avalanches. *Nature* 1992;356:658-9.
32. Crandell DR, Booth B, Kazumadinata K, *et al.* *Source book for volcanic hazards zonation*. Paris: U.N. Educational, Scientific and Cultural Organization; 1984.
33. Office of the United Nations Disaster Relief Coordinator (UNDRO). *Volcanic emergency management*. New York: United Nations; 1985.
34. Baxter PJ, Bernstein RS, Falk H, *et al.* Medical aspects of volcanic disasters: an outline of the hazards and emergency response measures. *Disasters* 1982;6:268-76.
35. Baxter PJ, Bernstein RS, Buist AS. Preventive health measures in volcanic eruptions. *Am J Public Health* 1986;76(Suppl.):84-90.